

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacture approach of single crystal piezo-electricity members, such as a piezoelectric transducer.

[0002]

[Description of the Prior Art] The oscillatory type gyroscope using the piezo electric crystal as an angular-velocity sensor for detecting the angular rate of rotation in a rotation system is used as an object for the check of locations, such as an aircraft, and a vessel, a space satellite. Recently, it is used for car navigation, VTR, detection of the hand deflection of a still camera, etc. as a noncommercial field.

[0003] Such a piezo-electric oscillatory type gyroscope will use that Coriolis force arises in the vibration and direction of a right angle, if angular velocity joins the body which is vibrating. And the principle is analyzed with a dynamic model (for example, an "elastic wave component technical handbook", Ohm-Sha, the 491-497th page). And various things are proposed as a piezo-electric mold oscillating gyroscope until now. For example, the Sperry tuning fork mold gyroscope, the Watson tuning fork mold gyroscope, the forward triangle pole mold vibrating reed gyroscope, the cylindrical vibrating reed gyroscope, etc. are known.

[0004] The piezo-electric oscillatory type gyroscope is summarized into the "piezo-electric form oscillating gyroscope angular-velocity sensor" (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers paper magazine C-I, Vol.J78- C-I No.11 the 547-556th page, November, 1995 issue). Moreover, the so-called tuning fork type of piezoelectric transducer is indicated by JP,8-114457,A.

[0005] However, in order to develop the oscillatory type gyroscope which used the piezoelectric transducer for a still newer application, the mass production technology is the most important. However, it was very difficult to mass-produce the vibrator which consists of a piezo-electric single crystal, securing sufficient precision. As current and the processing approach of a single crystal, etching processing is usual. Moreover, in JP,8-78985,A, the approach of forming a piezo resonator by the exposure of a laser beam is proposed.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In processing a single crystal base material by etching, the configuration of a processing cross section becomes unsymmetrical on the side front and background of a single crystal base material, and there is a problem that process tolerance is low. Thus, if the configuration of an etching side becomes unsymmetrical on the side front and background of a base material, by this, the different unnecessary oscillation mode from a simulation value will occur, and it will become the cause of increase of a noise signal.

[0007] Moreover, in JP,8-78985,A, the piezo electric crystal plate which prepared the vibrating electrode was irradiated operating the laser beam condensed by condensing means, such as a lens, and it has proposed starting the piezo resonator whose end face is an inclined plane by this. As a class of piezo electric crystal, it is PZT, Xtal, and LiTaO3. It is illustrated and they are a helium neon laser and CO2 as a class of laser beam. Solid state laser, such as gas laser, such as laser, an argon laser, krypton ion laser,

and xenon laser, ruby laser, and an YAG laser, is mentioned. Specifically, the YAG laser with a reinforcement of 4W is irradiated at the mother board of 1.5mm of board thickness.

[0008] this invention person is the purpose which cuts down the piezoelectric transducer for angular-rate-of-rotation sensors from a piezo-electric single crystal plate, and conducted the experiment which cuts down vibrator from a lithium-niobate substrate, a lithium tantalate substrate, a langasite substrate, and the Xtal substrate according to the publication of JP,8-78985,A. However, it has become clear in fact from the substrate of these piezo-electric single crystals that it is impossible to cut down vibrator in a good precision. Specifically, it is CO₂. When laser was irradiated at these substrates, the crack occurred and cutting processing was impossible. Moreover, when Nd-YAG laser was irradiated, processing hardly advanced. Thus, even if it irradiated the laser beam at the base material of a piezo-electric single crystal, it became clear that it is impossible to carry out precision processing of the appearance of vibrator. From these reasons, the technique which mass-produces vibrator with a fixed precision from the base material of a piezo-electric single crystal is searched for.

[0009] The technical problem of this invention is offering the new processing approach which can mass-produce a piezo-electric member, holding the process tolerance of a piezo-electric member on the occasion of forming a piezo-electric predetermined member from the base material of a piezo-electric single crystal.

[0010]

[Means for Solving the Problem] This invention is the manufacture approach of the piezo-electric member which consists of a piezo-electric single crystal, and relates to the manufacture approach of the piezo-electric member which irradiates laser light to the base material which consists of a piezo-electric single crystal, and the molecule of a base material dissociates and evaporates by the photochemistry-reaction, and is characterized by to perform the processing which shifts the light-absorption field of a piezo-electric single crystal from a base material to a long wavelength side on the occasion of carrying out removal processing of said piezo-electric single crystal to a piezo-electric single crystal.

[0011] this invention person acquired the following knowledge, as a result of considering the cause of failure in a detail further, after the experiment which cuts the base material which consists of a piezo-electric single crystal with laser light went wrong. That is, when a laser beam is irradiated, carries out heating melting and is processed to the base material of a piezo-electric single crystal, rapid heating and quenching happen locally in the exposure part of a base material.

[0012] However, a piezo-electric single crystal especially lithium niobate, lithium tantalate, etc. are very weak to a thermal shock. It is because pyroelectricity will occur rapidly on the part from which temperature changed, and the outskirts of it and a crack will occur unescapable, if there is a rapid temperature change inside a piezo-electric single crystal. For example, CO₂ When the laser beam (wavelength of 10.6 micrometers) was irradiated, many cracks expected to originate in such pyroelectricity occurred, and this could not be controlled, but processing on parenchyma was impossible.

[0013] For this reason, this invention person examined whether paying attention to the so-called laser ablation technique, a laser ablation technique would be inapplicable to the process which cuts a piezo-electric single crystal and manufactures a trembler. Carrying out cutting processing of the piezo-electric single crystal ingredient with a laser ablation technique conventionally does not have a similar case.

[0014] this invention person discovered that cutting processing of the base material which consists of a lithium niobate single crystal, a lithium tantalate single crystal, and Xtal could be carried out by using the 4th higher harmonic wave and excimer laser of Nd-YAG laser.

[0015] However, while advancing this research further, it discovered that the room of an improvement was still left behind at the following point.

[0016] For example, when the 4th higher harmonic wave of Nd-YAG laser was used and piezo-electric single crystals, such as lithium niobate, lithium tantalate, and langasite, were processed, it was about 4 micrometers or less, and center line average surface roughness Ra of a processing cross section was very highly precise, and was able to process it. The wavelength of the 4th higher harmonic wave of Nd-YAG laser is 266nm, and since the edge of the light absorption field of piezo-electric single crystals, such as

lithium niobate, is near 300-350nm, this is considered to have become perfect ablation processing.

[0017] However, generally the output of a high order higher harmonic is small. for example, the time of using the laser oscillation equipment of the same scale in the case of Nd-YAG laser -- the output of the 4th higher harmonic (266nm) -- about 250mW -- it is -- the output of the 3rd higher harmonic (355nm) - about 1 -1.5W -- it is -- the output of the second higher harmonic (532nm) -- about 2 -- it is -3W.

Moreover, in the case of the Ar ion laser, the laser light of various kinds of wavelength by within the limits of 300-530nm is oscillated, but the direction of the laser light by the side of long wavelength has a large output too.

[0018] Thus, in the laser light which generally has wavelength with a wavelength of 200-600nm, the output of laser light with long wavelength is larger than the output of laser light with short wavelength. Therefore, it becomes possible by processing a piezo-electric single crystal base material using laser light with long wavelength to mass-produce a piezo-electric member further. It is required to process a piezo-electric single crystal base material with high process tolerance at such a point, even when the laser light by the side of long wavelength is used further.

[0019] Moreover, this invention person conducted the processing experiment of the Xtal base material using the 4th higher harmonic of Nd-YAG laser, and discovered that cutting processing of the Xtal base material was possible. When the configuration of the processing cross section of this base material was observed, there is no difference of the configuration between the front face of a base material like [in etching] and a rear face, and the improvement was found fundamentally. However, center line average surface roughness Ra of the cutting plane of a base material is about 120 micrometers, and still had the room of an improvement at the point of process tolerance as compared with the case where base materials, such as lithium niobate, are processed.

[0020] this invention person also considered this cause and acquired the following knowledge. That is, the edge of the light absorption field of Xtal is about 180 micrometers, and has a difference 80nm or more with the 4th higher harmonic of Nd-YAG laser. For this reason, since the light absorption multiplier is low, it is thought that the piezo-electric single crystal is purely cut by not photochemistry ablation processing but the multiple-photon-absorption process, and it has thermal influence. This is called false thermal processing. Under this thermal effect, it is thought that the front face of the cutting plane of a piezo-electric single crystal base material was ruined.

[0021] this invention person stood on such knowledge, irradiated laser light to the base material which consists of a piezo-electric single crystal, dissociated and evaporated the molecule of a base material by the photochemistry-reaction, and hit on an idea of performing processing which shifts the light absorption field of a piezo-electric single crystal from a base material to a long wavelength side before carrying out removal processing of the piezo-electric single crystal to a piezo-electric single crystal.

[0022] It became possible to process a piezo-electric single crystal base material with high process tolerance by this, even when the laser light by the side of long wavelength is used. Thus, since the output of the laser light by the side of long wavelength was larger than the output of the laser light by the side of short wavelength, it can raise the working speed of a piezo-electric single crystal base material, and could mass-produce it. Moreover, when an absorption wavelength edge is in the short wavelength side of 200nm or less like Xtal, the edge of an absorption-of-light field can be shifted to a wavelength field 200nm or more by the aforementioned processing, and by this, as thermal a decomposition fault as the decomposition fault of a photochemistry-base material can also produce a twist preferentially, and can raise process tolerance further.

[0023] Hereafter, a still more concrete operation gestalt is described. Although the absorption wavelength field of the base material which should be processed determines the wavelength of laser light, it is desirable that the wavelength of laser light is +50nm or less from the absorption wavelength field edge of a base material, and it is much more desirable that the wavelength of laser light is below the absorption wavelength field edge of a base material. As for the wavelength of laser light, for that, it is desirable that it is especially 600nm or less. Now as the actual light source, 488 etc.nm of an excimer laser, an excimer lamp, the fourth higher harmonic (266nm) of Nd-YAG, the triple harmonic (355nm) of Nd-YAG, the secondary higher harmonic (532nm) of Nd-YAG, and an Ar ion laser etc. is practical.

[0024] An excimer laser is the pulse repeat oscillation laser of ultraviolet rays, arranges directivity with an optical resonance machine, and takes out the ultraviolet radiation which the compound of the shape of a gas, such as ArF (wavelength of 193nm), KrF (wavelength of 248nm), and XeCl (wavelength of 308nm), oscillates.

[0025] Ablation processing using an excimer laser is used for opening a hole for micro processing, such as polyimide, and it is reported that formation of a hole with a good detailed configuration is possible. As reference about the applied technology of an excimer laser, the "O plus E" November, 1995 issue and a page [64-108th] special edition "the excimer laser which entered at the practical use term" can be mentioned.

[0026] As irradiation equipment of laser light, the so-called equipment of an one-shot exposure method and the equipment of a multiple echo method are known. In the case of the multiple echo method, also when the hole density of a mask is small, it has the description that the utilization factor of light is high. In this invention, it is much more desirable to use the irradiation equipment by the multiple echo system.

[0027] Especially as a piezo-electric single crystal, the Xtal, lithium-niobate, lithium tantalate, and lithium-niobate-lithium tantalate solid solution and langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) are desirable, and the lithium-niobate, lithium tantalate, and lithium-niobate-lithium tantalate solid solution or langasite is much more desirable. Moreover, the mixed-crystal system piezo-electricity single crystal of titanate-acid lead zirconate (PZT), a relaxer compound (general-formula-b($\text{A}_{1/3}\text{B}_{2/3}$) O_3 : A is Cd, Zn, Mg, etc. here and B is Nb, Ta, W, etc.), and a titanate-acid lead zirconate and a relaxer compound can be illustrated.

[0028] The absorption wavelength edge of Xtal is about 180nm, and there is little practical laser which has the wavelength not more than this. For this reason, the light absorption field of Xtal is shifted to a long wavelength side by adding 30 ppm or more of transition-metals elements 5 or less % of the weight for Xtal. By this, the wavelength of the laser light to be used is brought close to the wavelength of the absorption wavelength edge of Xtal, and the wavelength of laser light is shortened preferably. As this transition-metals element, iron, cobalt, and nickel are desirable and iron is much more desirable.

[0029] Although an absorption wavelength edge is 180nm when iron is made to contain in Xtal, and a content is 1 ppm, when a content is 100 ppm, it is set to 260nm, and, in the case of 300 ppm, shifts at 320nm.

[0030] Moreover, Xtal called amethyst (amethyst) makes Xtal color purple by irradiating the gamma ray by the cobalt 60 to Xtal containing about 100 ppm iron. Although the light absorption field by the side of the short wavelength of amethyst is the same as the light absorption field of Xtal of a basis, two absorption fields near 350 nm and near 550nm are newly generating it. Although it thought since the color center by the electronic transition was made, also to the amethyst which has such an absorption field, according to this invention, this irradiated laser light and was able to be processed in photochemistry.

[0031] Moreover, although the absorption wavelength edge of lithium niobate and a lithium tantalate single crystal is about 320nm, for example, by adding iron to this, an absorption wavelength edge can be lengthened to 400nm or more, and a new absorption field is generated also in 500-600nm. By this, photochemistry-processing was attained with 488 etc.nm of the triple harmonic (355nm) of Nd-YAG, the secondary higher harmonic (532nm) of Nd-YAG, and an Ar ion laser etc.

[0032] The absorption-of-light wavelength edge of the usual lithium niobate single crystal is 320nm, for example, even if it irradiates laser light with a wavelength of 532nm, light absorption does not happen but, specifically, laser light completely penetrates a single crystal. For this reason, since it becomes thermoforming like the case of carbon dioxide laser as a mechanism of processing, for the heat added from laser light to a single crystal at the time of processing, a crack occurs in a single crystal and a processing side becomes an ununiformity.

[0033]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

TECHNICAL FIELD

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacture approach of single crystal piezo-electricity members, such as a piezoelectric transducer.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

PRIOR ART

[Description of the Prior Art] The oscillatory type gyroscope using the piezo electric crystal as an angular-velocity sensor for detecting the angular rate of rotation in a rotation system is used as an object for the check of locations, such as an aircraft, and a vessel, a space satellite. Recently, it is used for car navigation, VTR, detection of the hand deflection of a still camera, etc. as a noncommercial field.

[0003] Such a piezo-electric oscillatory type gyroscope will use that Coriolis force arises in the vibration and direction of a right angle, if angular velocity joins the body which is vibrating. And the principle is analyzed with a dynamic model (for example, an "elastic wave component technical handbook", Ohm-Sha, the 491-497th page). And various things are proposed as a piezo-electric mold oscillating gyroscope until now. For example, the Sperry tuning fork mold gyroscope, the Watson tuning fork mold gyroscope, the forward triangle pole mold vibrating reed gyroscope, the cylindrical vibrating reed gyroscope, etc. are known.

[0004] The piezo-electric oscillatory type gyroscope is summarized into the "piezo-electric form oscillating gyroscope angular-velocity sensor" (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers paper magazine C-I, Vol.J78- C-I No.11 the 547-556th page, November, 1995 issue).

Moreover, the so-called tuning fork type of piezoelectric transducer is indicated by JP,8-114457,A.

[0005] However, in order to develop the oscillatory type gyroscope which used the piezoelectric transducer for a still newer application, the mass production technology is the most important. However, it was very difficult to mass-produce the vibrator which consists of a piezo-electric single crystal, securing sufficient precision. As current and the processing approach of a single crystal, etching processing is usual. Moreover, in JP,8-78985,A, the approach of forming a piezo resonator by the exposure of a laser beam is proposed.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

EFFECT OF THE INVENTION

[Effect of the Invention] As stated above, according to this invention, on the occasion of forming a piezo-electric member from the base material of a piezo-electric single crystal, the process tolerance of the appearance of a piezo-electric member is raised, and the new processing approach which can be mass-produced can be offered.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

TECHNICAL PROBLEM

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In processing a single crystal base material by etching, the configuration of a processing cross section becomes unsymmetrical on the side front and background of a single crystal base material, and there is a problem that process tolerance is low. Thus, if the configuration of an etching side becomes unsymmetrical on the side front and background of a base material, by this, the different unnecessary oscillation mode from a simulation value will occur, and it will become the cause of increase of a noise signal.

[0007] Moreover, in JP,8-78985,A, the piezo electric crystal plate which prepared the vibrating electrode was irradiated operating the laser beam condensed by condensing means, such as a lens, and it has proposed starting the piezo resonator whose end face is an inclined plane by this. As a class of piezo electric crystal, it is PZT, Xtal, and LiTaO₃. It is illustrated and they are a helium neon laser and CO₂ as a class of laser beam. Solid state laser, such as gas laser, such as laser, an argon laser, krypton ion laser, and xenon laser, ruby laser, and an YAG laser, is mentioned. Specifically, the YAG laser with a reinforcement of 4W is irradiated at the mother board of 1.5mm of board thickness.

[0008] this invention person is the purpose which cuts down the piezoelectric transducer for angular-rate-of-rotation sensors from a piezo-electric single crystal plate, and conducted the experiment which cuts down vibrator from a lithium-niobate substrate, a lithium tantalate substrate, a langasite substrate, and the Xtal substrate according to the publication of JP,8-78985,A. However, it has become clear in fact from the substrate of these piezo-electric single crystals that it is impossible to cut down vibrator in a good precision. Specifically, it is CO₂. When laser was irradiated at these substrates, the crack occurred and cutting processing was impossible. Moreover, when Nd-YAG laser was irradiated, processing hardly advanced. Thus, even if it irradiated the laser beam at the base material of a piezo-electric single crystal, it became clear that it is impossible to carry out precision processing of the appearance of vibrator. From these reasons, the technique which mass-produces vibrator with a fixed precision from the base material of a piezo-electric single crystal is searched for.

[0009] The technical problem of this invention is offering the new processing approach which can mass-produce a piezo-electric member, holding the process tolerance of a piezo-electric member on the occasion of forming a piezo-electric predetermined member from the base material of a piezo-electric single crystal.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

MEANS

[Means for Solving the Problem] This invention is the manufacture approach of the piezo-electric member which consists of a piezo-electric single crystal, and relates to the manufacture approach of the piezo-electric member which irradiates laser light to the base material which consists of a piezo-electric single crystal, and the molecule of a base material dissociates and evaporates by the photochemistry-reaction, and is characterized by to perform the processing which shifts the light-absorption field of a piezo-electric single crystal from a base material to a long wavelength side on the occasion of carrying out removal processing of said piezo-electric single crystal to a piezo-electric single crystal.

[0011] this invention person acquired the following knowledge, as a result of considering the cause of failure in a detail further, after the experiment which cuts the base material which consists of a piezo-electric single crystal with laser light went wrong. That is, when a laser beam is irradiated, carries out heating melting and is processed to the base material of a piezo-electric single crystal, rapid heating and quenching happen locally in the exposure part of a base material.

[0012] However, a piezo-electric single crystal especially lithium niobate, lithium tantalate, etc. are very weak to a thermal shock. It is because pyroelectricity will occur rapidly on the part from which temperature changed, and the outskirts of it and a crack will occur unescapable, if there is a rapid temperature change inside a piezo-electric single crystal. For example, CO₂ When the laser beam (wavelength of 10.6 micrometers) was irradiated, many cracks expected to originate in such pyroelectricity occurred, and this could not be controlled, but processing on parenchyma was impossible.

[0013] For this reason, this invention person examined whether paying attention to the so-called laser ablation technique, a laser ablation technique would be inapplicable to the process which cuts a piezo-electric single crystal and manufactures a trembler. Carrying out cutting processing of the piezo-electric single crystal ingredient with a laser ablation technique conventionally does not have a similar case.

[0014] this invention person discovered that cutting processing of the base material which consists of a lithium niobate single crystal, a lithium tantalate single crystal, and Xtal could be carried out by using the 4th higher harmonic wave and excimer laser of Nd-YAG laser.

[0015] However, while advancing this research further, it discovered that the room of an improvement was still left behind at the following point.

[0016] For example, when the 4th higher harmonic wave of Nd-YAG laser was used and piezo-electric single crystals, such as lithium niobate, lithium tantalate, and langasite, were processed, it was about 4 micrometers or less, and center line average surface roughness Ra of a processing cross section was very highly precise, and was able to process it. The wavelength of the 4th higher harmonic wave of Nd-YAG laser is 266nm, and since the edge of the light absorption field of piezo-electric single crystals, such as lithium niobate, is near 300-350nm, this is considered to have become perfect ablation processing.

[0017] However, generally the output of a high order higher harmonic is small. for example, the time of using the laser oscillation equipment of the same scale in the case of Nd-YAG laser -- the output of the 4th higher harmonic (266nm) -- about 250mW -- it is -- the output of the 3rd higher harmonic (355nm) - about 1 -1.5W -- it is -- the output of the second higher harmonic (532nm) -- about 2 -- it is -3W.

Moreover, in the case of the Ar ion laser, the laser light of various kinds of wavelength by within the limits of 300-530nm is oscillated, but the direction of the laser light by the side of long wavelength has a large output too.

[0018] Thus, in the laser light which generally has wavelength with a wavelength of 200-600nm, the output of laser light with long wavelength is larger than the output of laser light with short wavelength. Therefore, it becomes possible by processing a piezo-electric single crystal base material using laser light with long wavelength to mass-produce a piezo-electric member further. It is required to process a piezo-electric single crystal base material with high process tolerance at such a point, even when the laser light by the side of long wavelength is used further.

[0019] Moreover, this invention person conducted the processing experiment of the Xtal base material using the 4th higher harmonic of Nd-YAG laser, and discovered that cutting processing of the Xtal base material was possible. When the configuration of the processing cross section of this base material was observed, there is no difference of the configuration between the front face of a base material like [in etching] and a rear face, and the improvement was found fundamentally. However, center line average surface roughness Ra of the cutting plane of a base material is about 120 micrometers, and still had the room of an improvement at the point of process tolerance as compared with the case where base materials, such as lithium niobate, are processed.

[0020] this invention person also considered this cause and acquired the following knowledge. That is, the edge of the light absorption field of Xtal is about 180 micrometers, and has a difference 80nm or more with the 4th higher harmonic of Nd-YAG laser. For this reason, since the light absorption multiplier is low, it is thought that the piezo-electric single crystal is purely cut by not photochemistry ablation processing but the multiple-photon-absorption process, and it has thermal influence. This is called false thermal processing. Under this thermal effect, it is thought that the front face of the cutting plane of a piezo-electric single crystal base material was ruined.

[0021] this invention person stood on such knowledge, irradiated laser light to the base material which consists of a piezo-electric single crystal, dissociated and evaporated the molecule of a base material by the photochemistry-reaction, and hit on an idea of performing processing which shifts the light absorption field of a piezo-electric single crystal from a base material to a long wavelength side before carrying out removal processing of the piezo-electric single crystal to a piezo-electric single crystal.

[0022] It became possible to process a piezo-electric single crystal base material with high process tolerance by this, even when the laser light by the side of long wavelength is used. Thus, since the output of the laser light by the side of long wavelength was larger than the output of the laser light by the side of short wavelength, it can raise the working speed of a piezo-electric single crystal base material, and could mass-produce it. Moreover, when an absorption wavelength edge is in the short wavelength side of 200nm or less like Xtal, the edge of an absorption-of-light field can be shifted to a wavelength field 200nm or more by the aforementioned processing, and by this, as thermal a decomposition fault as the decomposition fault of a photochemistry-base material can also produce a twist preferentially, and can raise process tolerance further.

[0023] Hereafter, a still more concrete operation gestalt is described. Although the absorption wavelength field of the base material which should be processed determines the wavelength of laser light, it is desirable that the wavelength of laser light is +50nm or less from the absorption wavelength field edge of a base material, and it is much more desirable that the wavelength of laser light is below the absorption wavelength field edge of a base material. As for the wavelength of laser light, for that, it is desirable that it is especially 600nm or less. Now as the actual light source, 488 etc.nm of an excimer laser, an excimer lamp, the fourth higher harmonic (266nm) of Nd-YAG, the triple harmonic (355nm) of Nd-YAG, the secondary higher harmonic (532nm) of Nd-YAG, and an Ar ion laser etc. is practical.

[0024] An excimer laser is the pulse repeat oscillation laser of ultraviolet rays, arranges directivity with an optical resonance machine, and takes out the ultraviolet radiation which the compound of the shape of a gas, such as ArF (wavelength of 193nm), KrF (wavelength of 248nm), and XeCl (wavelength of 308nm), oscillates.

[0025] Ablation processing using an excimer laser is used for opening a hole for micro processing, such

as polyimide, and it is reported that formation of a hole with a good detailed configuration is possible. As reference about the applied technology of an excimer laser, the "O plus E" November, 1995 issue and a page [64-108th] special edition "the excimer laser which entered at the practical use term" can be mentioned.

[0026] As irradiation equipment of laser light, the so-called equipment of an one-shot exposure method and the equipment of a multiple echo method are known. In the case of the multiple echo method, also when the hole density of a mask is small, it has the description that the utilization factor of light is high. In this invention, it is much more desirable to use the irradiation equipment by the multiple echo system.

[0027] Especially as a piezo-electric single crystal, the Xtal, lithium-niobate, lithium tantalate, and lithium-niobate-lithium tantalate solid solution and langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) are desirable, and the lithium-niobate, lithium tantalate, and lithium-niobate-lithium tantalate solid solution or langasite is much more desirable. Moreover, the mixed-crystal system piezo-electricity single crystal of titanate-acid lead zirconate (PZT), a relaxer compound (general-formula-b($\text{A}^{1/3}\text{B}^{2/3}$) O_3 : A is Cd, Zn, Mg, etc. here and B is Nb, Ta, W, etc.), and a titanate-acid lead zirconate and a relaxer compound can be illustrated.

[0028] The absorption wavelength edge of Xtal is about 180nm, and there is little practical laser which has the wavelength not more than this. For this reason, the light absorption field of Xtal is shifted to a long wavelength side by adding 30 ppm or more of transition-metals elements 5 or less % of the weight for Xtal. By this, the wavelength of the laser light to be used is brought close to the wavelength of the absorption wavelength edge of Xtal, and the wavelength of laser light is shortened preferably. As this transition-metals element, iron, cobalt, and nickel are desirable and iron is much more desirable.

[0029] Although an absorption wavelength edge is 180nm when iron is made to contain in Xtal, and a content is 1 ppm, when a content is 100 ppm, it is set to 260nm, and, in the case of 300 ppm, shifts at 320nm.

[0030] Moreover, Xtal called amethyst (amethyst) makes Xtal color purple by irradiating the gamma ray by the cobalt 60 to Xtal containing about 100 ppm iron. Although the light absorption field by the side of the short wavelength of amethyst is the same as the light absorption field of Xtal of a basis, two absorption fields near 350 nm and near 550nm are newly generating it. Although it thought since the color center by the electronic transition was made, also to the amethyst which has such an absorption field, according to this invention, this irradiated laser light and was able to be processed in photochemistry.

[0031] Moreover, although the absorption wavelength edge of lithium niobate and a lithium tantalate single crystal is about 320nm, for example, by adding iron to this, an absorption wavelength edge can be lengthened to 400nm or more, and a new absorption field is generated also in 500-600nm. By this, photochemistry-processing was attained with 488 nm of the triple harmonic (355nm) of Nd-YAG, the secondary higher harmonic (532nm) of Nd-YAG, and an Ar ion laser etc.

[0032] The absorption-of-light wavelength edge of the usual lithium niobate single crystal is 320nm, for example, even if it irradiates laser light with a wavelength of 532nm, light absorption does not happen but, specifically, laser light completely penetrates a single crystal. For this reason, since it becomes thermoforming like the case of carbon dioxide laser as a mechanism of processing, for the heat added from laser light to a single crystal at the time of processing, a crack occurs in a single crystal and a processing side becomes an ununiformity.

[0033] On the other hand, if iron is added 1% to a lithium niobate single crystal, an absorption-of-light wavelength edge will shift to 370nm, and a new light absorption field will be generated in 450-550nm. This new light absorption field is a light absorption field based on the charge transfer between iron ion and niobium ion. Almost pure photochemistry-processing was attained with this by the laser light within the limits of 320-550nm.

[0034] Thus, when a transition-metals atom was made to contain in a single crystal and the content was 5% or less, there were few bad influences to piezoelectric ability.

[0035] Moreover, with other operation gestalten of this invention, the light absorption field of a piezo-

electric single crystal is shifted to a long wavelength side by heat-treating a piezo-electric single crystal in 3% or less of oxygen content ambient atmosphere, or a reducing atmosphere. This is especially effective to a lithium niobate single crystal, a lithium tantalate single crystal, and a lithium-niobate-lithium tantalate solid-solution single crystal. Some valences of the niobium atom in a single crystal change with heat treatments of the single crystal in the inside of such a hypoxia ambient atmosphere, and a spectrum changes with these.

[0036] For example, when the lithium niobate single crystal was heat-treated at 1150 degrees C in the ambient atmosphere of 1% of oxygen, and remainder nitrogen for 2 hours, a new light absorption field appeared near 500nm. Moreover, the whole lithium niobate single crystal was able to be made to blacken by presenting heat treatment much more in an elevated temperature [**** / presenting heat treatment in the ambient atmosphere of a still lower oxygen density] with a lithium niobate single crystal, or presenting much more prolonged heat treatment with it. As for the temperature of this heat treatment, it is desirable to consider as 1050-1250 degrees C.

[0037] Moreover, in this invention, while adding transition-metals atoms, such as iron, cobalt, and nickel, to each single crystal, this single crystal can be heat-treated in the oxygen content ambient atmosphere of 3% or less of oxygen densities, or a reducing atmosphere.

[0038] In this invention, the so-called spot scan processing, package imprint processing, and slit scan processing can be mentioned as the processing approach which carries out cutting processing of the piezo-electric single crystal by laser light.

[0039] In the desirable operation gestalt of this invention, vibrator is vibrator for angular-rate-of-rotation sensors, and drive vibration and detection vibration of vibrator are performed in a predetermined flat surface. This operation gestalt is further explained to a detail.

[0040] this invention person has conducted the experiment which produces the vibrator which can detect the angular rate of rotation by sensibility high enough, without preparing the lobe of fixed weight toward the direction of a revolving shaft from vibrator, also when vibrator is installed so that the oscillating arm of vibrator may be perpendicularly prolonged to a revolving shaft. Such a trembler can be used for the rotational-speed sensor used for the car control system of the car-body rotational-speed feedback type of an automobile. In this system, angle of rotation of a handle detects the direction of a steering wheel itself. An oscillating gyroscope detects the rotational speed which can come, simultaneously the car body is actually rotating. And stable car-body control is realized by measuring the direction of a steering wheel, and the rotational speed of an actual car body, searching for a difference, and adding amendment to wheel torque and a steering angle based on this difference.

[0041] For this reason, this invention person succeeded in manufacturing vibrator made from a piezo-electric single crystal with which drive vibration and detection vibration of vibrator are performed in a predetermined flat surface by the approach of this invention. Laser light is irradiated according to this invention, and this whole vibrator can be formed in the base material which consists of single crystal sheet metal by carrying out cutting processing of the base material.

[0042] Such vibrator is suitable as vibrator of the sensor for mount which needs temperature stability especially to a temperature change since it is insensible. This point is explained further. As an angular-velocity sensor which used the vibrator of a tuning fork mold, there is a piezo-electric oscillatory type gyroscope indicated by JP,8-128833,A, for example. However, in such vibrator, vibrator vibrates toward two directions. That is, it vibrates also to a Z direction with vibrator vibrating in a X-Y flat surface. For this reason, when it forms with a single crystal which described especially vibrator above, it is necessary to double the property of the 2-way of a single crystal.

[0043] On the other hand, generally, with the piezo-electric oscillatory type gyroscope, in order to make sensitometry good, it is required that a fixed oscillation frequency difference should be maintained between the natural frequency of the oscillation mode of a drive and the natural frequency of the oscillation mode of detection. However, when the single crystal has an anisotropy and the crystal face changes, the degrees of the temperature change of oscillation frequency differ. For example, when it cuts along a certain specific crystal face, there is almost no temperature change of oscillation frequency, but when it cuts along another crystal face, oscillation frequency reacts to a temperature change sensitively.

[0044] Here, if vibrator vibrates toward two directions, one [at least] field will turn into the crystal face where the temperature change of oscillation frequency is large between two planes of vibration.

[0045] On the other hand, by forming vibrator, it is made not to be influenced of the anisotropy of the above mentioned single crystal, and only the crystal face with the most sufficient property of a piezo-electric single crystal can be used now in vibrator so that the whole vibrator may be vibrated in a predetermined flat surface.

[0046] Since vibration of vibrator is altogether performed in the single flat surface, specifically, vibrator can be manufactured only using the crystal face which does not almost have the temperature change of oscillation frequency among piezo-electric single crystals. By this, an oscillatory type gyroscope with very high temperature stability can be offered.

[0047] Such vibrator is illustrated. First, it is the vibrator which consists of a base material for fixing to an external holddown member the tuning fork mold vibrator which comes to join an oscillating piece together by the base in a predetermined flat surface and this tuning fork mold vibrator of a pair in a predetermined flat surface, and it can constitute so that the curvature movement which uses as the supporting point the fixed portion which connected with the base material with the holddown member of a base material into the predetermined flat surface may arise.

[0048] Drawing 1 is the perspective view showing the vibrator 1 concerning this operation gestalt. Vibrator 1 is equipped with tuning fork mold vibrator and a base material 2. Tuning fork mold vibrator is equipped with the oscillating pieces 3A and 3B of a pair, and each oscillating pieces 3A and 3B are connected through the connection 5 and the base 4 to a part for the point of a base material 2 in the X-Y flat surface, respectively. The other end of a base material 2 is being fixed in XY flat surface to the external holddown member 6. The oscillating pieces 3A and 3B of a pair are almost parallel mutually, and are prolonged in parallel to the base material 2. Each connection 5 is prolonged to the abbreviation perpendicular direction to the base material 2.

[0049] With the excitation means which is not illustrated, vibration as shown by the arrow head B is excited so that a phase may become reverse completely in a X-Y flat surface at each oscillating pieces 3A and 3B. In this condition, if the whole vibrator 1 is rotated by the angular rate of rotation ω focusing on the Z-axis, as an arrow head D shows, along with a Y-axis, the force of the reverse sense will act on each oscillating pieces 3A and 3B mutually according to Coriolis force. Consequently, in tuning fork mold vibrator, the moments C1 and C2 of the same direction work to each other centering on a base 4 by the base 4 and both-ends side of the connection part 5. The crookedness vibration A within XY flat surface centering on that fixed portion 7 arises in a base material 2 with these moments C1 and C2. The angular rate of rotation ω can be measured by detecting with a crookedness signal detection means by which this crookedness vibration A is not illustrated.

[0050] Moreover, it has at least one crookedness oscillating piece prolonged in the direction which crosses to the die-length direction of a base to a base and a base, it is formed so that a base and a crookedness oscillating piece may be substantially prolonged in a predetermined flat surface, and it illustrates about the vibrator with which one edge of the base of vibrator is being fixed.

[0051] Drawing 2 is the front view showing this vibrator 9. In vibrator 9, the base 10 has extended perpendicularly from the holddown member 6, and one edge 10a of a base 10 is being fixed to the holddown member 6. The predetermined excitation means 14A and 14B are established in the base 10. Two crookedness oscillating pieces 12A and 12B perpendicularly prolonged to a base 10 in the other-end section 10b side of a base 10 are formed.

[0052] The mode of vibration of this vibrator 9 is explained. Driver voltage is impressed to the excitation means 14A and 14B, and crookedness vibration is carried out as a base 10 is shown in an arrow head E focusing on the fixed portion 7 to a holddown member 6. Not only the base 10 of vibrator 9 but each point of each crookedness oscillating pieces 12A and 12B vibrates like an arrow head E with this crookedness vibration.

[0053] A revolving shaft is set as the Z-axis and the z-axis is rotated for vibrator 9 as a core. As shown in an arrow head E, when carrying out crookedness vibration of the base 10, when the Z-axis is rotated as a core, as an arrow head F shows the whole vibrator 9, Coriolis force acts. Consequently, each

crookedness oscillating pieces 12A and 12B carry out crookedness vibration, as an arrow head F shows focusing on the connection part 11 with other-end section 10b of a base 10, respectively.

[0054] Thus, by crookedness vibration of a base 10, the Coriolis force generated in a X-Y flat surface in each crookedness oscillating pieces 12A and 12B can be changed into a crookedness vibration centering on the connection part 11 of each crookedness oscillating pieces 12A and 12B, and it can ask for the angular rate of rotation from the crookedness vibration. Even if it installs vibrator so that the oscillating arm of vibrator may be perpendicularly prolonged to a revolving shaft Z by this, the angular rate of rotation is detectable by high sensitivity.

[0055] Since vibrator is formed with a piezo-electric single crystal in this invention, it is an excitation means.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the perspective view showing one gestalt of the vibrator which can be manufactured by the approach of this invention.

[Drawing 2] It is the front view showing one gestalt of the vibrator which can be manufactured by the approach of this invention.

[Drawing 3] It is the front view showing one gestalt of the vibrator which can be manufactured by the approach of this invention.

[Drawing 4] It is the front view showing one gestalt of the vibrator which can be manufactured by the approach of this invention.

[Description of Notations]

1, 9, 18, 25 Vibrator 2 Base material 3A, 3B Oscillating piece of a pair 6 17 External holddown member 7 Fixed portion to the holddown member 6 of vibrator 10 24 Base 12A, 12B, 27A, 27B Two crookedness oscillating pieces perpendicularly prolonged to a base 13A, 13B, 13C, 13D, 14A, 14B, 21A, 21B 28A, 28B, 28C, 28D Excitation means (detection means) 19 Fixed piece section 40 Piece of resonance A Crookedness vibration of a base material 2

B Vibration of each oscillating pieces 3A and 3B C1, C2 The rotational moment E Crookedness vibration centering on the fixed portion 7 of a base 10 F Each crookedness oscillating piece 12A, Crookedness vibration centering on the connection part 11 of 12B G Vibration centering on the connection part 22 of the piece 40 of resonance H Vibration centering on the connection part 25 of a base 24 I Crookedness oscillating piece 27A, Vibration centering on the connection part 26 of 27B X, Y Predetermined flat surface where vibrator vibrates Z Revolving shaft

[Translation done.]

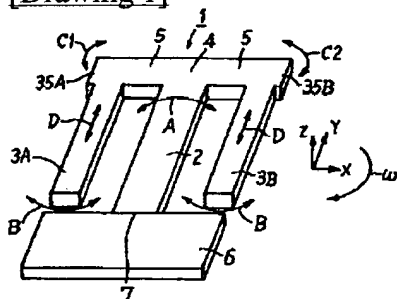
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

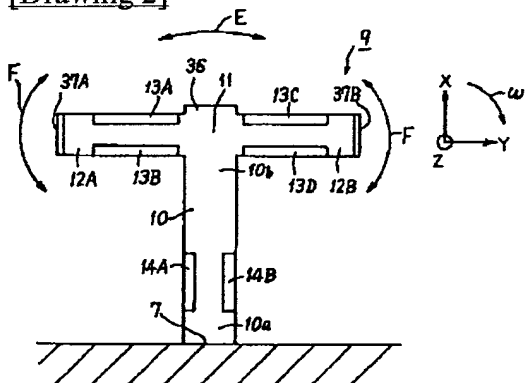
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

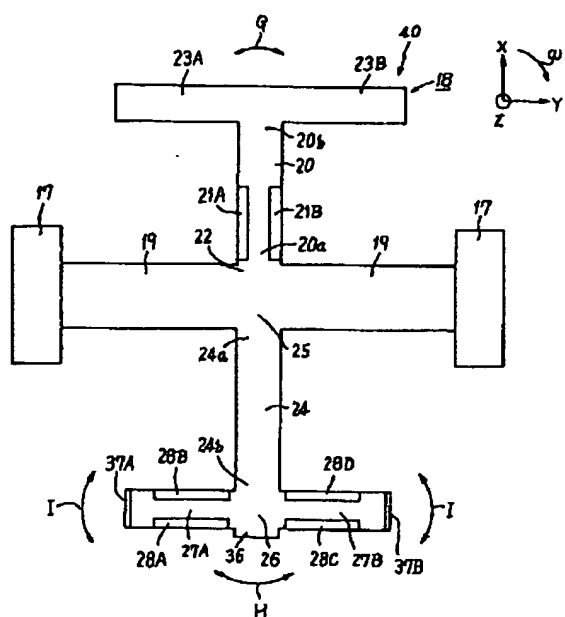
[Drawing 1]



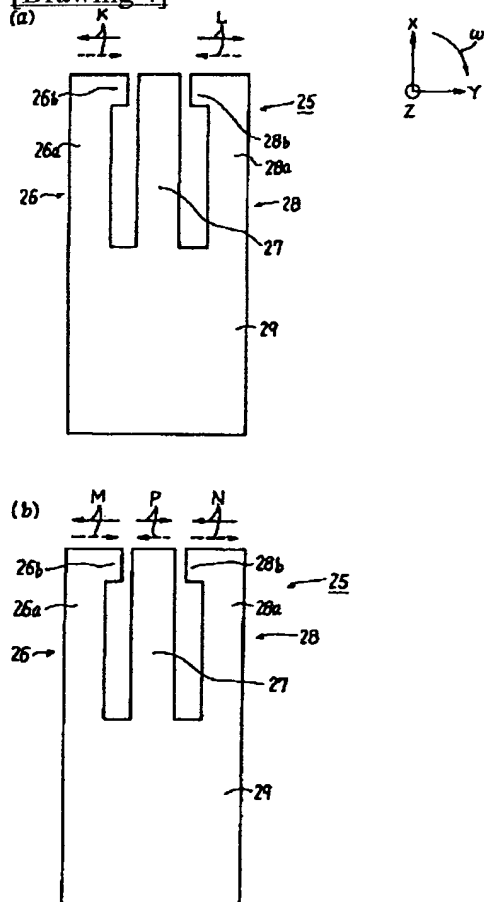
[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Translation done.]

PRODUCTION OF PIEZOELECTRIC MEMBER

Patent number: JP10163779
Publication date: 1998-06-19
Inventor: IMAEDA MINORU; YOSHINO TAKASHI; KATO KENJI;
SOMA TAKAO
Applicant: NGK INSULATORS LTD
Classification:
- international: H03H3/02; H01L41/08; H01L41/18; H01L41/24;
H03H9/19
- european:
Application number: JP19960323934 19961204
Priority number(s): JP19960323934 19961204

Report a data error here

Abstract of JP10163779

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a working method for the mass-production of piezoelectric members while keeping the working accuracy of piezoelectric members when forming the prescribed piezoelectric member from piezoelectric single crystal base materials. **SOLUTION:** The base material composed of piezoelectric single crystal is irradiated with laser light, the molecules of base material are dissociated and evaporated by photochemical reaction and in the case of work for removing the piezoelectric single crystal from the base material, processing for shifting the light absorptive area of piezoelectric mono-crystal to the side of longer wavelength is performed to the piezoelectric single crystal. It is preferable that the light absorptive area of piezoelectric single crystal to the side of longer wavelength by adding transition metal elements more than 30ppm and less than 5wt.% into the piezoelectric single crystal or performing heat treatment to the piezoelectric single crystal in the atmosphere in which the concentration of oxygen is less than 3%.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(10)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-163779

(43)公開日 平成10年(1998)6月19日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	FI
H03H 3/02		H03H 3/02 B
H01L 41/08		9/18 A
41/18		H01L 41/08 Z
41/24		41/18 101A
H03H 9/19		41/22 A

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全10頁)

(21)出願番号	特願平8-323834	(71)出願人	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番60号
(22)出願日	平成8年(1996)12月4日	(72)発明者	今横 英昭 愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番60号 日 本碍子株式会社内
		(72)発明者	吉野 隆史 愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番60号 日 本碍子株式会社内
		(72)発明者	江藤 賢治 愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番60号 日 本碍子株式会社内
		(74)代理人	弁護士 杉村 睦秀 (外9名) 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電部材の製造方法

(57)【要約】

【課題】圧電単結晶の母材から所定の圧電部材を形成するために際して、圧電部材の加工精度を保持しつつ、圧電部材を生産しうる加工方法を提供する。

【解決手段】圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって母材の分子を解離および蒸発させ、母材から圧電単結晶を除去加工するの
に際して、圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる処理を圧電単結晶に対して施す。好ましくは、圧電単結晶中に遷移金属元素を30ppm以上、5重量%

以下添加することによって、または、圧電単結晶を酸素濃度3%以下の雰囲気中で熱処理することによって、圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電単結晶からなる圧電部材の製造方法であって、前記圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって前記母材の分子を解離および蒸発させ、前記母材から前記圧電単結晶を除去加工するのに際して、前記圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる処理を前記圧電単結晶に対して施すことを特徴とする、圧電部材の製造方法。

【請求項2】 前記圧電単結晶中に遷移金属元素を30ppm以上、5重量%以下添加することによって前記圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせることを特徴とする、請求項1記載の圧電部材の製造方法。

【請求項3】 前記遷移金属元素が鉄であることを特徴とする、請求項2記載の圧電部材の製造方法。

【請求項4】 前記圧電単結晶を酸素濃度3%以下の雰囲気中で熱処理することによって、前記圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせることを特徴とする、請求項1記載の圧電部材の製造方法。

【請求項5】 前記圧電単結晶が、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体およびランガサイトからなる群より選ばれた一種以上の圧電単結晶であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一つの請求項に記載の圧電部材の製造方法。

【請求項6】 前記母材が平板形状の母材であり、この母材の主面に対して前記レーザー光を照射して前記母材を切断することによって、平板形状の振動子を製造することを特徴とする、請求項1～5のいずれか一つの請求項に記載の圧電部材の製造方法。

【請求項7】 前記振動子が回転角速度センサ用の振動子であり、前記振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるものであることを特徴とする、請求項6記載の圧電部材の製造方法。

【請求項8】 前記母材を除去加工して前記振動子を形成した後、前記振動子の前記駆動振動の周波数と前記検出振動の周波数とを調整するために、前記レーザー光を前記振動子の表面に照射して前記圧電単結晶を削除することを特徴とする、請求項6または7記載の圧電部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、圧電振動子などの単結晶圧電部材の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 回転系内の回転角速度を検出するための角速度センサとして、圧電体を用いた振動型ジャイロスコープが、航空機や船舶、宇宙衛星などの位置の確認用として利用されてきた。最近では、民生用の分野としてカーナビゲーションや、VTRやスチルカメラの手振れの検出などに使用されている。

【0003】 このような圧電振動型ジャイロスコープは、振動している物体に角速度が加わると、その振動と直角方向にコリオリ力が生じることを利用している。そして、その原理は力学的モデルで解析される（例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、オーム社、第491～497頁）。そして、圧電型振動ジャイロスコープとしては、これまでに種々のものが提案されている。例えば、スペリー音叉型ジャイロスコープ、ワトソン音叉型ジャイロスコープ、正三角柱型音片ジャイロスコープ、円筒型音片ジャイロスコープ等が知られている。

【0004】 圧電振動型ジャイロスコープについては、「圧電形振動ジャイロスコープ角速度センサ」（電子情報通信学会論文誌 C-1、Vol. J78-C-1 No. 11 第547～556頁、1995年11月発行）にまとめられている。また、いわゆる音叉型の圧電振動子は、例えば特開平8-114457号公報に記載されている。

【0005】 しかし、圧電振動子を使用した振動型ジャイロスコープを更に新たな用途に展開するためには、その量産技術が最も重要である。しかし、圧電単結晶からなる振動子を、十分な精度を確保しつつ量産することは、極めて困難であった。現在、単結晶の加工方法としては、エッチング加工が通常である。また、特開平8-78985号公報においては、圧電共振子をレーザービームの照射によって形成する方法が提案されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 エッチングによって単結晶母材を加工する場合には、加工断面の形状が、単結晶母材の表側と裏側とで非対称になり、加工精度が低いという問題がある。このようにエッチング面の形状が母材の表側と裏側とで非対称になると、これによってシミュレーション値とは異なる不必要な振動モードが発生し、ノイズ信号の増大の原因となる。

【0007】 また、特開平8-78985号公報においては、振動電極を設けた圧電体板に、レンズ等の集光手段によって集光されたレーザービームを操作しながら照射し、これによって、端面が傾斜面である圧電共振子を切り出すことを提案している。圧電体の種類としてはPZT、水晶、LiTaO₃ が開示されており、レーザービームの種類としてはヘリウム・ネオンレーザー、CO₂ レーザー、アルゴンレーザー、クリプトンイオンレーザー、キセノンレーザー等のガスレーザー、ルビーレーザー、YAGレーザー等の固体レーザーが挙げられている。具体的には、板厚1、5mmのマザーボードに、4ワットの強度のYAGレーザーを照射している。

【0008】 本発明者は、回転角速度センサ用の圧電振動子を圧電単結晶板から切り出す目的で、特開平8-78985号公報の記載に従って、ニオブ酸リチウム基板、タンタル酸リチウム基板、ランガサイト基板、水晶基板から振動子を切り出す実験を行った。しかし、実際

にはこれらの圧電単結晶の基板から、振動子を良好な精度で切り出すことは不可能であることが判明してきた。具体的には、CO₂ レーザーをこれらの基板に照射すると、クラックが発生し、切断加工が不可能であった。また、Nd-YAG レーザーを照射した場合には、加工がほとんど進行しなかった。このように、レーザービームを圧電単結晶の母材に照射しても、振動子の外形を精密加工することは不可能であることが判明した。これらの理由から、圧電単結晶の母材から振動子を一定の精度をもって生産する技術が求められている。

【0009】本発明の課題は、圧電単結晶の母材から所定の圧電部材を形成するのに際して、圧電部材の加工精度を保持しつつ、圧電部材を量産しうるような、新たな加工方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、圧電単結晶からなる圧電部材の製造方法であって、圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって母材の分子を解離および燃焼させ、母材から前記圧電単結晶を除去加工するのに際して、圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる処理を圧電単結晶に対して施すことを特徴とする、圧電部材の製造方法に係るものである。

【0011】本発明者は、圧電単結晶からなる母材をレーザー光で切断する実験に失敗した後、失敗の原因について更に詳細に検討した結果、次の知見を得た。即ち、圧電単結晶の母材に対してレーザービームを照射して加熱溶融させ、加工するときには、母材の照射部分で、局所的に急熱と急冷が起こる。

【0012】しかし、圧電単結晶、特にニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどは、熱衝撃に非常に弱い。なぜなら、圧電単結晶の内部で急激な温度変化があると、温度が変化した部分とその周辺で急激に焦電が発生し、クラックが不可逆的に発生するからである。例えば、CO₂ レーザービーム（波長10.6μm）を照射すると、こうした焦電に起因するものと見られるクラックが多量発生し、これを抑制することはできず、実質上加工は不可能であった。

【0013】このため、本発明者は、いわゆるレーザーアブレーション技術に着眼し、圧電単結晶を切断して振動子を製造するプロセスにレーザーアブレーション技術を適用できないかを検討した。従来、圧電単結晶材料をレーザーアブレーション技術によって切断加工することは、まったく類例がない。

【0014】本発明者は、Nd-YAG レーザーの4次高調波やエキシマレーザーを使用することによって、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、水晶からなる母材を切断加工しうることを発見した。

【0015】しかし、この研究を更に進めていくうちに、いまだ次の点で改善の余地が残されていることを発

見した。

【0016】例えば、Nd-YAG レーザーの4次高調波を使用し、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ランガサイト等の圧電単結晶を加工した場合には、加工断面の中心線平均表面粗さRaが約4μm以下であり、極めて高精度で加工することができた。これは、Nd-YAG レーザーの4次高調波の波長が266nmであり、ニオブ酸リチウム等の圧電単結晶の光吸収領域の端部が300~350nm付近にあるために、完全なアブレーション加工となったものと思われる。

【0017】しかし、一般に高次高調波の出力は小さい。例えば、Nd-YAG レーザーの場合には、同一規模のレーザー発振装置を使用したときに、第4次高調波（266nm）の出力が約250mWであり、第3次高調波（333nm）の出力が約1~1.5Wであり、第2次高調波（532nm）の出力が約2~3Wである。また、アルゴンイオンレーザーの場合には、300~530nmの範囲内で各種の波長のレーザー光が発振されているが、やはり長波長側のレーザー光の方が出力が大きい。

【0018】このように、一般に波長200~600nmの波長を有するレーザー光においては、波長が長いレーザー光の出力の方が、波長が短いレーザー光の出力よりも大きい。従って、波長の長いレーザー光を使用して圧電単結晶母材を加工することによって、一層長波長側のレーザー光を使用した場合でも、高い加工精度をもって圧電単結晶母材を加工することが必要である。

【0019】また、本発明者は、Nd-YAG レーザーの4次高調波を使用して水晶母材の加工実験を行い、水晶母材の切断加工が可能であることを発見した。この母材の加工断面の形状を観察すると、エッチングの場合のような母材の表面と裏面との間での形状の相違はなく、基本的には改善が見られた。ただし、母材の切断面の中心線平均表面粗さRaは約120μmであり、ニオブ酸リチウム等の母材を加工した場合と比較すると、加工精度の点ではいまだ改善の余地があった。

【0020】本発明者は、この原因についても検討し、以下の知見を得た。即ち、水晶の光吸収領域の端部は約180nmであり、Nd-YAG レーザーの4次高調波とは80nm以上の差がある。このため、光吸収係数が低いために、純粋に光化学的なアブレーション加工ではなく、多光子吸収過程によって圧電単結晶が切断されており、熱的影響があるものと考えられる。これを類似熱的加工と呼ぶ。この熱的影響によって、圧電単結晶母材の切断面の表面が荒れたものと考えられる。

【0021】本発明者は、こうした知見に立ち、圧電単結晶からなる母材に対してレーザー光を照射し、光化学的な反応によって母材の分子を解離および燃焼させ、母材から圧電単結晶を除去加工するのに先立って、圧電単

結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる処理を圧電単結晶に対して施すことを想到した。

【0022】これによって、長波長側のレーザー光を使用した場合でも、高い加工精度をもって圧電単結晶母材を加工することが可能になった。このように長波長側のレーザー光の出力は、短波長側のレーザー光の出力よりも大きいので、圧電単結晶母材の加工速度を向上させ、量産することができるようになった。また、水晶のように吸収波長端が200nm以下の短波長側にある場合には、前記の処理によって200nm以上の波長領域に光の吸収領域の端部をシフトさせることができ、これによって光化学的な母材の分解過程を熱的な分解過程よりも優先的に生じさせ、加工精度を一層向上させることができる。

【0023】以下、更に具体的な実施形態について述べる。レーザー光の波長は、加工すべき母材の吸収波長領域によって決定するが、レーザー光の波長が母材の吸収波長領域端よりも+50nm以下であることが好ましく、レーザー光の波長が母材の吸収波長領域端以下であることが一層好ましい。このためには、レーザー光の波長は600nm以下であることが特に好ましい。現実の光源としては、エキシマレーザー光源、エキシマランプ、Nd-YAGの四次高調波(266nm)、Nd-YAGの三次高調波(355nm)、Nd-YAGの二次高調波(532nm)、アルゴンイオンレーザーの488nmなどが、現在のところ実用的である。

【0024】エキシマレーザーは、紫外線のパルス繰り返し発振レーザーであり、ArF(波長193nm)、KrF(波長248nm)、XeCl(波長308nm)などの気体状の化合物が発振する紫外光を、光共振鏡により方向性を揃えて取り出したものである。

【0025】エキシマレーザーを用いたアブレーション加工は、例えば、ポリイミド等の微細加工のために孔を開けるのに使用されており、良好な形状の微細な孔の形成が可能であることが報告されている。エキシマレーザーの応用技術に関する文献としては、「Optics」1995年11月号、第64～108頁の特集「実用期に入ったエキシマレーザー」を挙げることができる。

【0026】レーザー光の照射装置としては、いわゆる一括露光方式の装置と多重反射方式の装置とが知られている。多重反射方式の場合には、マスクの開孔率が小さい場合にも、光の利用率高いという特徴を有している。本発明においては、多重反射系による照射装置を使用することが一層好ましい。

【0027】圧電単結晶としては、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、ランガサイト(La₃Ge₅Si₄)が特に好ましく、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固

溶体またはランガサイトが一層好ましい。また、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、リラクサ化合物(一般式: Pb(A_{1/3}B_{2/3})O₃:ここでAはCd、Zn、Mgなどであり、BはNb、Ta、Wなどである)、チタン酸ジルコン酸鉛とリラクサ化合物との混晶系圧電単結晶を例示できる。

【0028】水晶の吸収波長端は約180nmであり、これ以下の波長を有する実用的なレーザーは少ない。このため、水晶に遷移金属元素を30ppm以上、5重量%以下添加することによって、水晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる。これによって、使用するレーザー光の波長を、水晶の吸収波長端の波長に近づけ、好ましくはレーザー光の波長の方を短くする。この遷移金属元素としては、鉄、コバルト、ニッケルが好ましく、鉄が一層好ましい。

【0029】水晶中に例えば鉄を含有させた場合には、含有量が1ppmの場合には吸収波長端が180nmであるが、含有量が100ppmの場合には260nmとなり、300ppmの場合には320nmにシフトする。

【0030】また、紫水晶(アメジスト)と呼ばれる水晶は、100ppm程度の鉄を含有している水晶に対して、コバルト60によるガンマ線を照射することによって、水晶を紫色に着色させたものである。紫水晶の短波長側の光吸収領域は、もとの水晶の光吸収領域と同じであるが、更に350nm付近と550nm付近との2つの吸収領域が新たに生成している。これは、電子移動による着色中心ができたためと考えられるが、このような吸収領域を有する紫水晶に対しても、本発明に従って、レーザー光を照射して光化学的に加工することができた。

【0031】また、例えばニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム単結晶の吸収波長端は320nm程度であるが、これに鉄を添加することによって、吸収波長端を400nm以上まで長くすることができ、また500～600nmにも新しい吸収領域が生ずる。これによって、Nd-YAGの三次高調波(355nm)、Nd-YAGの二次高調波(532nm)、アルゴンイオンレーザーの488nmなどによって、光化学的な加工が可能になった。

【0032】具体的には、通常のニオブ酸リチウム単結晶の光の吸収波長端は320nmであり、例えば波長532nmのレーザー光を照射しても、まったく光吸収は起こらず、レーザー光が単結晶を透過する。このため、加工のメカニズムとしては、炭酸ガスレーザーの場合と同様に熱加工となるために、加工時にレーザー光から単結晶に対して加わる熱のために、単結晶中にクラックが発生し、また加工面が不均一になる。

【0033】これに対して、ニオブ酸リチウム単結晶に鉄を1%添加すると、光の吸収波長端が370nmにシ

フトし、かつ、450〜550nmに新しい光吸収領域が生ずる。この新しい光吸収領域は、鉄イオンとニオブイオンとの間の電荷移動に基づく光吸収領域である。これによって、320〜550nmの範囲内のレーザー光によって、ほぼ特異的な光化学的な加工が可能になった。

【0034】このように遷移金属原子を単結晶中に含有させた場合にも、含有量が5%以下であれば、圧電性能への悪影響は少なかった。

【0035】また、本発明の他の実施形態では、3%以下の酸素含有雰囲気中で、または、還元性雰囲気中で、圧電単結晶を熱処理することによって、圧電単結晶の光吸収領域を長波長側にシフトさせる。これは特にニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶に対して有効である。こうした酸素不足雰囲気中での単結晶の熱処理によって、単結晶中のニオブ原子の一部の価数が増加し、これによってスペクトルが変化する。

【0036】例えば、ニオブ酸リチウム単結晶を、酸素1%、移動要素の雰囲気中で1150℃で2時間熱処理したところ、新しい光吸収領域が500nm付近に現れた。また、ニオブ酸リチウム単結晶を、一層低い酸素濃度の雰囲気中での熱処理に供したり、一層高温での熱処理に供したり、あるいは一層長時間の熱処理に供することによって、ニオブ酸リチウム単結晶の全体を黒色化させることができた。この熱処理の温度は、1050〜1250℃とすることが好ましい。

【0037】また、本発明においては、各単結晶に鉄、コバルト、ニッケル等の遷移金属原子を添加すると共に、この単結晶を酸素濃度3%以下の酸素含有雰囲気または還元性雰囲気中で熱処理することができる。

【0038】本発明において、レーザー光によって圧電単結晶を切断加工する加工方法としては、いわゆるスポットスキャン加工、一括転写加工、スリットスキャン加工を挙げることができる。

【0039】本発明の好ましい実施形態においては、振動子が回転角速度センサ用の振動子であり、振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるものである。この実施形態について更に詳細に説明する。

【0040】本発明者は、振動子の振動アームが回転軸に対して垂直方向に延びるように振動子を設置した場合にも、振動子から回転軸の方向に向かって一定重量の突出部を設けることなく、十分に高い感度で回転角速度を検出できるような振動子を作製する実験を行ってきた。こうした振動子は、例えば、自動車の車体回転速度フィードバック式の車両制御システムに用いる回転速度センサに使用できる。このシステムにおいては、操舵輪の方向自身は、ハンドルの回転角度によって検出する。これと同時に、実際に車体が回転している回転速度を振動ジャイロスコープによって検出する。そして、操舵輪の方向と実際の車体の回転速度を比較して差を求め、この

差に基づいて車輪トルク、操舵角に補正を加えることによって、安定した車体制御を実現する。

【0041】本発明者は、このために、振動子の駆動振動と検出振動とが所定平面内で行われるような圧電単結晶製の振動子を、本発明の方法によって製造することに成功した。単結晶基板からなる母材に、本発明に従ってレーザー光を照射し、母材を切断加工することによって、この振動子の全体を形成できる。

【0042】このような振動子は、温度変化に対して特に鈍感であるため、温度安定性を必要とする車載用センサの振動子として好適である。この点について更に説明する。音叉型の振動子を使用した角速度センサとしては、例えば特開平8-128833号公報に記載された圧電振動型ジャイロスコープがある。しかし、こうした振動子において、振動子が2つの方向に向かって振動する。つまり、振動子がX-Y平面内で振動するのと共に、Z方向にも振動する。このため、振動子を特に前記したような単結晶によって形成した場合には、単結晶の2方向の特性を合わせる必要がある。

【0043】一方、一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有周波数と検出の振動モードの固有周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。しかし、単結晶は異方性を持っており、結晶面が変化すると、振動周波数の温度変化の度合いが異なる。例えば、ある特定の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数の温度変化がほとんどないが、別の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数が温度変化に敏感に反応する。

【0044】ここで、振動子が2つの方向に向かって振動すると、2つの振動面のうち少なくとも一方の面は、振動周波数の温度変化が大きい結晶面になる。

【0045】これに対して、振動子の全体を所定平面内で振動するように、振動子を形成することで、前記した単結晶の異方性の影響を受けないようにし、圧電単結晶の最も特性の良い結晶面のみを振動子において利用できるようになった。

【0046】具体的には、振動子の振動が単一平面内ですべて行われていることから、圧電単結晶のうち、振動周波数の温度変化がほとんどない結晶面のみを利用して振動子を製造することができる。これによって、きわめて温度安定性の高い振動型ジャイロスコープを提供できる。

【0047】こうした振動子を例示する。まず、一對の振動片を所定平面内で基部により結合してなる音叉型振動子と、この音叉型振動子を外部の固定部材に所定平面内において固定するための支持体とからなる振動子であって、所定平面内において、支持体に支持体の固定部材と接続した固定部分を支点とする屈曲運動が生じるよう構成できる。

【0048】図1は、この実施形態に係る振動子1を示す斜視図である。振動子1は、音叉型振動子と、支持体2とを備えている。音叉型振動子は、一対の振動片3A、3Bを備えており、各振動片3A、3Bは、それぞれ、 $X-Y$ 平面内で支持体2の先端部分に対して接続部5、基部4を介して接続されている。支持体2の他端部が、外部の固定部材6に対して XY 平面内において固定されている。一対の振動片3A、3Bは、互いにほぼ平行であり、かつ支持体2に対して平行に延びている。各接続部5は、支持体2に対して略垂直方向に延びている。

【0049】図示しない励振手段により、各振動片3A、3Bに、 $X-Y$ 平面内において位相が完全に逆になるように、矢印Bで示すような振動を励起する。この状態で、 Z 軸を中心として振動子1の全体を回転角速度 ω で回転させると、コリオリの力により、各振動片3A、3Bには、矢印Dで示すように、 Y 軸に沿って互いに逆向きの力が作用する。その結果、音叉型振動子において、基部4および接続部分5の両端側で、基部4を中心とする互いに同じ向きのモーメント $C1$ 、 $C2$ が働く。このモーメント $C1$ 、 $C2$ により、支持体2に、その固定部分7を中心とする XY 平面内の屈曲振動Aが生じる。この屈曲振動Aを、図示しない屈曲信号検出手段により検出することで、回転角速度 ω を測定することができる。

【0050】また、基部と、基部から基部の長さ方向に対して交差する方向に延びる少なくとも一本の屈曲振動片とを備えており、基部と屈曲振動片とが実質的に所定平面内に延びるように形成されており、振動子の基部の一方の端部が固定されている振動子について例示する。

【0051】図2は、この振動子9を示す正面図である。振動子9においては、基部10が固定部材6から垂直に延びており、基部10の一方の端部10aが固定部材6に固定されている。基部10内に所定の励振手段14A、14Bが設けられている。基部10の他方の端部10b側に、基部10に対して垂直方向に延びる2本の屈曲振動片12A、12Bが設けられている。

【0052】この振動子9の振動のモードについて説明する。励振手段14A、14Bに対して駆動電圧を印加し、基部10を、固定部材6への固定部分7を中心として、矢印Eに示すように屈曲振動させる。この屈曲振動に伴い、振動子9の基部10だけでなく、各屈曲振動片12A、12Bの各点も、矢印Eのように振動する。

【0053】 Z 軸を回転軸とし、振動子9を x 軸を中心として回転させる。基部10を、矢印Eに示すように屈曲振動させているときに、振動子9の全体を Z 軸を中心として回転させると、矢印Fで示すようにコリオリ力が作用する。この結果、各屈曲振動片12A、12Bが、それぞれ基部10の他方の端部10bとの接続部分11を中心として、矢印Fで示すように屈曲振動する。

【0054】このように、基部10の屈曲振動によって、各屈曲振動片12A、12Bにおいて $X-Y$ 平面内に発生するコリオリ力を、各屈曲振動片12A、12Bの接続部分11を中心とする屈曲振動に変換し、その屈曲振動から回転角速度を求めることができる。これによって、振動子の振動アームが回転軸 Z に対して垂直方向に延びるように振動子を設置しても、回転角速度を高感度で検出できる。

【0055】本発明においては、振動子を圧電単結晶によって形成するので、励振手段（検出手段）14A、14B、13A、13B、13C、13Dとしては、電極を使用する。励振手段（または検出手段）14Aと14Bとの方があれば、少なくとも励振（または検出）を行うことが可能である。また、検出手段（または励振手段）13A、13B、13C、13Dのうちの一つがあれば、少なくとも検出（または励振）を行うことが可能である。

【0056】また、前記のような振動子を、いわゆるH型の形態の振動子に対して適用することができる。例えば、両端が固定されている固定片部と、固定片部の一方の側に設けられている基部と、基部から基部の長さ方向に対して交差する方向に延びる少なくとも一本の屈曲振動片と、固定片部の他方の側に設けられている共振片とを備えており、固定片部、基部、屈曲振動片および共振片が実質的に所定平面内に延びるように形成されている振動子を製造できる。

【0057】図3は、この実施形態に係る振動子18を示す正面図である。振動子18では、固定片部19によって励振手段側と検出手段側とを分離している。固定片部19の両端を固定部材17によって固定する。固定片部19の一方の側に細長い基部24を設け、基部24の端部24bから、基部24の長さ方向に対して直交する方向に延びる2本の屈曲振動片27A、27Bを設けている。

【0058】固定片部19の他方の側に、共振片40が設けられている。共振片40は、固定片部19から垂直方向に延びる長方形の支持部20を備えており、支持部20内に所定の励振手段21A、21Bが設けられている。支持部20の他方の端部20b側に、支持部20に対して垂直方向に延びる2本の振動片23A、23Bが設けられている。基部24の端部24aと共振片40の端部20aとが、固定片部19に対して連続している。

【0059】この振動子18の振動のモードについて説明する。励振手段21A、21Bに対して駆動電圧を印加し、共振片40を、固定片部19との接続部分22を中心として、矢印Gのように振動させる。この振動に対する共振によって、基部24および一対の屈曲振動片27A、27Bが、固定部材19との接続部分25を中心として、矢印Hのように振動する。

【0060】この振動子18の全体が、回転軸 Z を中心

として回転すると、各屈曲振動片27A、27Bにコリオリ力が作用する。この結果、各屈曲振動片27A、27Bが、それぞれ接続部分26を中心として、矢印Iで示すように振動する。この屈曲振動を、検出手段28A、28B、28C、28Dによって検出する。

【0061】このように、共振片40の接続部分22を中心とする屈曲振動によって、各屈曲振動片27A、27BにおいてX-Y平面内に発生するコリオリ力を、各屈曲振動片27A、27Bの接続部分26を中心とする屈曲振動に変換し、その屈曲振動から回転角速度を求めることができる。これによって、振動子の振動アームが回転軸Zに対して垂直方向に延びるように振動子を設置しても、回転角速度を高感度で検出できる。

【0062】また、図4(a)、(b)は、三脚音叉型の振動子25を示す正面図である。この振動子の動作は、「日本音響学会 平成8年春季研究発表会 講演論文集11」社団法人 日本音響学会 1996年3月第1071～1072頁「水平橋型音叉振動ジャイロスコープセンサを目的とした三脚音叉共振子」に記載されている。振動子25は、外部の固定部材に固定されるべき基部29と、基部29から突出している3本の音叉型の振動片26、27、28を備えている。両端の振動片26、28は、基部29から細長く突出している本体部分26a、28aと、各本体部分26a、28aから垂直方向に向かって延びている質量部26b、28bとを備えている。

【0063】この三脚音叉を振動ジャイロとして用いる場合の駆動振動モードは、対称-水平一次共振モード(HS-MODE)とし、検出用振動モードは、非対称-水平一次共振モード(HA-MODE)とする。これらの2つのモードは、理想的には、互いに排他させておく。角速度を検出する際には、予めHS-MODEを駆動させておく。図4(a)は、HS-MODEの駆動状態を示すものであり、音叉型振動片26が、矢印Kで示すように振動し、音叉型振動片28が矢印Lで示すように、振動片26とは反対側に振動する。

【0064】角速度 ω が振動子に加わると、各振動片26、28の先端部分にある負荷質量部26b、28bに、駆動振動の方向K、Lに対して垂直な方向に向かってコリオリ力が発生する。コリオリ力が負荷質量部26b、28bに対して加わると、駆動振動の方向に向かってモーメントが働き、図4(b)に示すように、HA-MODEが励起される。即ち、各振動片26、28が矢印M、Nで示すように、互いに同じ方向へと向かって振動する。これと同時に、中央の振動片27が、矢印Pで示すように、各振動片26、28とは反対側へと向かって振動する。このHA-MODEの振動を検出することによって、角速度 ω を測定する。なお、前記した駆動振動と検出振動とは互いに可逆的である。

【0065】一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、

測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有周波数と検出の振動モードの固有周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。なぜなら、駆動の振動モードの固有周波数と検出の振動モードの固有周波数とが近くなると、感度は良くなるが、応答速度が悪化し、この差が大きくなると、応答速度は良くなるが、感度が悪化するからである。

【0066】この問題を解決するために、本発明の好適な実施形態においては、母材を除去加工して振動子を形成した後、振動子の駆動振動の周波数と検出振動の周波数とを調整するために、レーザー光を振動子の表面に照射して、振動子を構成する圧電単結晶の少なくとも表面領域を昇華させ、除去することができる。

【0067】具体的には、図1の振動子1においては、各音叉型振動子の各振動片3A、3Bと接続部分5との境界に、張出部分35A、35Bを形成する。そして、いったんこの平面形状を有する振動子1を圧電単結晶母材から切り出した後、張出部分35A、35Bに対してレーザー光を照射し、質量を除去する加工を施す。これによって、各振動片3A、3Bの振動Bの振動モードの固有周波数を変化させる。

【0068】また、図2に示す振動子9においては、基部10の他方の端部10b側に、屈曲振動片12A、12Bから突出する突出部36が設けられている。そして、突出部36から質量を除去する加工を施すことによって、基部10の振動Eの振動モードの固有周波数を変化させる。また、各屈曲振動片12A、12Bの各先端側の37A、37Bから質量を除去する加工を行うことによって、各屈曲振動片の振動Fの振動モードの固有周波数を、それぞれ独立して変化させることができる。

【0069】また、図3に示す振動子18においては、基部24の他方の端部24b側に、屈曲振動片27A、27Bから突出する突出部36が設けられている。そして、突出部36から質量を除去する加工を施すことによって、基部24の振動Hの振動モードの固有周波数を変化させる。また、各屈曲振動片27A、27Bの各先端側の37A、37Bから質量を除去する加工を行うことによって、各屈曲振動片の振動Iの振動モードの固有周波数を、それぞれ独立して変化させることができる。

【0070】これらの場合、通常は振動子から取り去るべき質量は僅かであるので、振動子を構成する圧電単結晶を切断するに至る必要はなく、圧電単結晶の表面部分のみを除去して凹部を形成するのみで良い。本発明の方法、特にパルスレーザー光を所定時間照射する方法は、こうした一定質量の除去に特に適している。

【0071】以下、更に具体的な実験結果について述べる。

(実施例1) 鉄を0.3%含有しているニオブ酸リチウム単結晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハからなる母材を切り出した。この母材の短波長側の光

吸収領域の端部は400nmであり、更に450～550nmに、鉄イオンとニオブイオンとの間の電荷移動に基づく光吸収領域が認められた。

【0072】この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-YAGのレーザーの2次高調波（波長532nm）のパルスレーザーを母材に照射し、図4に示すような平面形状となるように母材を切断加工した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを3000mWとし、レーザー光の走査速度を1.0mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。

【0073】約60秒で、図4に示す圧電振動子を1個形成した。前記ウエハーの全体について、この加工を施した。加工面の直角度は $90 \pm 0.1^\circ$ であり、中心線平均表面粗さRaは5 μ mであった。

【0074】（実施例2）鉄を1000ppm含有しているタンタル酸リチウム単結晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる母材を切り出した。この母材の短波長側の光吸収領域の端部は360nmであった。

【0075】この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-YAGのレーザーの3次高調波（波長355nm）のパルスレーザーを母材に照射し、図4に示すような平面形状となるように母材を切断加工した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを1000mWとし、レーザー光の走査速度を0.7mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。

【0076】約90秒で、図4に示す圧電振動子を1個形成した。前記ウエハーの全体について、この加工を施した。加工面の直角度は $90 \pm 0.1^\circ$ であり、中心線平均表面粗さRaは3 μ mであった。

【0077】（実施例3）鉄を100ppm含有しているニオブ酸リチウム単結晶を、不活性雰囲気下で、1150℃で2時間熱処理した。この単結晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる母材を切り出した。この母材の短波長側の光吸収領域の端部は330nmであり、かつ350nm～700nmの全体にわたって光の吸収が認められた。

【0078】この母材に、図4に示すように電極を形成した。アルゴンイオンレーザーのマルチライン（波長458nm～515nm）を母材に照射し、図4に示すような平面形状となるように母材を切断加工した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを5000mWとし、レーザー光の走査速度を1.2mm/秒とした。

【0079】約50秒で、図4に示す圧電振動子を1個形成した。前記ウエハーの全体について、この加工を施した。加工面の直角度は $90 \pm 0.1^\circ$ であり、中心線平均表面粗さRaは8 μ mであった。

【0080】（比較例1）厚さ0.2mmのLiTeO

3単結晶のZ板からなる母材を準備した。これにCO2レーザー（波長10600nm）のパルスレーザーを照射し、母材の切断加工を試みた。母材の表面におけるレーザー光のパワーを100mWとし、レーザー光の走査速度を0.2mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を200 μ secとした。しかし、母材に微細なクラックが無数に発生したため、切断加工はできなかった。

【0081】（比較例2）厚さ0.2mmのLiTeO3単結晶のZ板からなる母材を準備した。これにYAGレーザー（波長1060nm）のパルスレーザーを照射し、母材の切断加工を試みた。母材の表面におけるレーザー光のパワーを3000mWとし、レーザー光の走査速度を1.0mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。しかし、母材はレーザー光を吸収しにくいために、母材を切断するまでに至らなかった。

【0082】（比較例3）ニオブ酸リチウム単結晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる母材を切り出した。この母材の短波長側の光吸収領域の端部は320nmであった。この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-YAGのレーザーの2次高調波（波長532nm）のパルスレーザーを母材に照射した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを3000mWとし、レーザー光の走査速度を1.0mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。しかし、母材はレーザー光を吸収しにくいために、母材を切断するまでに至らなかった。

【0083】（実施例4）鉄を300ppm含有している水晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる母材を切り出した。この材料の光吸収領域の吸収波長端は320nmであった。この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-YAGのレーザーの4次高調波（波長266nm）のパルスレーザーを母材に照射し、図4に示すような平面形状となるように母材を切断加工した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを250mWとし、レーザー光の走査速度を0.5mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。

【0084】約2分で、図4に示す圧電振動子を、1個形成した。前記のウエハーの全体について、この加工を施した。加工面の直角度は $90^\circ \pm 0.1^\circ$ であり、中心線平均表面粗さRaは3 μ mであった。

【0085】（実施例5）鉄を100ppm含有している水晶に対して、コバルト60ガンマ線を照射し、紫水晶を得た。この紫水晶の短波長側の光吸収領域の端部は300nmであり、更に350nm付近と550nm付近とに2つの光吸収領域が認められた。この紫水晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる

母材を切り出した。

【0086】この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-YAGのレーザーの3次高調波（波長355nm）のパルスレーザーを母材に照射し、図4に示すような平面形状となるように母材を切断加工した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを1000mWとし、レーザー光の走査速度を0.7mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。

【0087】約90秒で、図4に示す圧電振動子を1個形成した。前記ウエハーの全体について、この加工を施した。加工面の直角度は $90 \pm 0.1^\circ$ であり、中心線平均表面粗さRaは5 μ mであった。

【0088】（実施例6）鉄を100ppm含有している水晶に対して、コバルト60ガンマ線を照射し、紫水晶を得た。この紫水晶の短波長側の光吸収領域の端部は300nmであり、更に350nm付近と550nm付近とに2つの光吸収領域が認められた。この紫水晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる母材を切り出した。

【0089】この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-YAGのレーザーの2次高調波（波長532nm）のパルスレーザーを母材に照射し、図4に示すような平面形状となるように母材を切断加工した。母材の表面におけるレーザー光のパワーを3000mWとし、レーザー光の走査速度を1.0mm/秒とし、パルスの繰り返し周波数を2kHzとし、パルスの幅を45nsecとした。

【0090】約60秒で、図4に示す圧電振動子を1個形成した。前記ウエハーの全体について、この加工を施した。加工面の直角度は $90 \pm 0.1^\circ$ であり、中心線平均表面粗さRaは15 μ mであった。

【0091】（比較例4）水晶から、厚さ200 μ m、直径3インチのウエハーからなる母材を切り出した。水晶の光吸収領域の吸収波長端は180nmであった。この母材に、図4に示すように電極を形成した。Nd-Y

AGのレーザーの3次高調波（波長355nm）のパルスレーザーを母材に照射した。しかし、母材はレーザー光を吸収しにくいために、母材を切断するまでに至らなかった。

【0092】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、圧電単結晶の母材から圧電部材を形成するのに際して、圧電部材の外形の加工精度を向上させ、かつ量産しうるような、新たな加工方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す斜視図である。

【図2】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す正面図である。

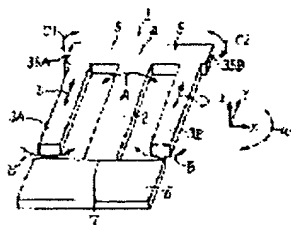
【図3】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す正面図である。

【図4】本発明の方法で製造できる振動子の一形態を示す正面図である。

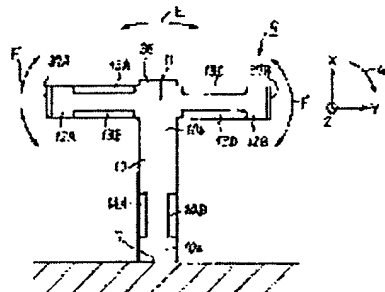
【符号の説明】

1、9、18、25 振動子 2 支持体 3A、3B 一對の振動片 6、17 外部の固定部材 7 振動子の固定部材6への固定部分 10、24 基部 12A、12B、27A、27B 基部に対して垂直方向に延びる2本の屈曲振動片 13A、13B、13C、13D、14A、14B、21A、21B、26A、26B、26C、26D 励振手段（検出手段） 19 固定片部 40 共振片 A 支持体2の屈曲振動 B 各振動片3A、3Bの振動 C1、C2 回転のモーメント E 基部10の固定部分7を中心とする屈曲振動 F 各屈曲振動片12A、12Bの接続部分11を中心とする屈曲振動 G 共振片40の接続部分22を中心とする振動 H 基部24の接続部分25を中心とする振動 I 屈曲振動片27A、27Bの接続部分26を中心とする振動 X、Y 振動子が振動する所定平面 Z 回転軸

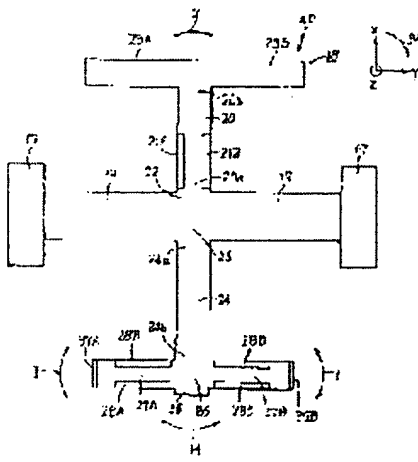
【図1】



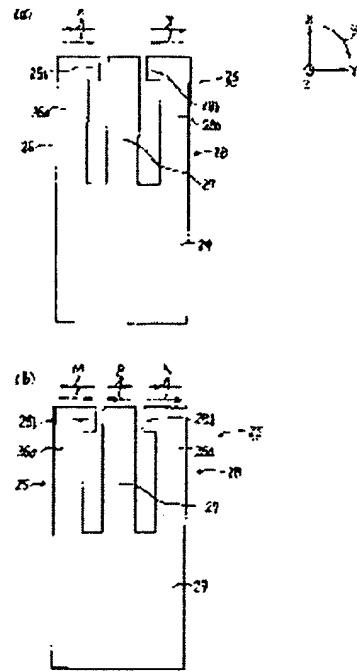
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 相馬 陸雄
愛知県名古屋市中区須田町2番56号 日
本電子株式会社内